

Jose Rokka

# SÄHKÖMOOTORIN TESTAUSLAITTEISTON KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikka


Toukokuu 2015



# KUVAILULEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  5.5.2015
<b>Tekijä(t)</b> Jose Rokka		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Sähkötekniikan koulutusohjelma Sähkövoimatekniikka
<b>Nimeke</b> Sähkömoottorin testauslaitteiston kehittäminen		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Tämän työn tarkoituksena oli kehittää Mikkelin ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa olevaa sähkömoottorin testauslaitteistoa. Laitteistoon piti asentaa tehoanalysaattori ja momenttianturin lähetin, jotka olivat jo hankittu. Tämän jälkeen minun täytyi suunnitella toteutus.</p> <p>Laitteiston tärkeimmät osat ovat sähkömoottori, momenttianturi, jarru, taajuusmuuttaja, kosketusnäyttö ja pehmokäynnistin. Työn tavoitteena olisi, että oppilaat voisivat käyttää laitteistoa paremmin hyväksi laboratoriotyössä.</p> <p>Aluksi minun tuli tutustua jo valmiiksi olevaan laitteistoon. Tämän jälkeen tutustuin uusiin asennettaviin laitteisiin. Minun tuli suunnitella asennustavat sekä hankkia sähkötukusta tarvittavat tarvikkeet. Tämän jälkeen asensin tehoanalysaattorin ja momenttianturin lähettimen. Työn lopputulokseen en ollut täysin tyytyväinen momenttianturin lähettimen osalta. Tehoanalysaattorin liittäminen onnistui mielestäni hyvin.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> taajuusmuuttaja, sähkömoottori		
<b>Sivumäärä</b> 33 s.	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Arto Kohvakka		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Mikkelin ammattikorkeakoulu

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  5.5.2015
<b>Author(s)</b> Jose Rokka		<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  The development of the electric motor test equipment		
<b>Abstract</b>  <p>The purpose of this work was to develop the electric motor test equipment, which is located in the Mikkeli University of Applied Sciences electrical laboratory. The power analyzer and the transmitter for the torque sensor had to be installed to the equipment. The most important components are electric motor, torque sensor, brake, variable speed drive, touch panel and soft starter.</p> <p>First I had to plan, how I was going to do it. Then I did all the needed installations. I am not hundred percent satisfied with the end result of work. I had a lot of problems with the transmitter for the torque sensor, but luckily I managed to install the power analyzer.</p>		
<b>Subject headings, (keywords)</b> variable speed drive, electric motor		
<b>Pages</b> 33 p.	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>		
<b>Tutor</b> Arto Kohvakka		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Mikkeli University of Applied Sciences

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	CAN-VÄYLÄTEKNIikka .....	1
2.1	Perusominaisuuksia .....	2
2.2	CAN-solmun rakenne .....	3
2.3	Fyysinen kerros.....	4
2.3.1	High-speed CAN ja low-speed CAN.....	4
2.3.2	Fault-tolerant CAN .....	6
2.3.3	Single-wire CAN .....	7
2.4	Siirtoyhteyskerros .....	8
2.5	Kilpavarauus .....	8
2.6	Bit Stuffing .....	8
2.7	Kehysrakenne .....	9
2.7.1	Sanomakehys / datakehys .....	9
2.7.2	Kyselykehys / RTR-kehys .....	11
2.7.3	Virhekehys .....	11
2.7.4	Viivekehys .....	11
2.7.5	Kuittaus .....	12
2.7.6	Viestikehyksen tarkistus .....	12
2.8	Virheidenhallinta .....	13
3	KESKUS .....	14
3.1	Keskuksen yläosa.....	14
3.2	Keskuksen ovi ja keskiosa .....	15
3.3	Keskuksen alaosa.....	17
4	TESTAUSLAITTEISTO .....	18
4.1	Oikosulkumoottori.....	19
4.1.1	Oikosulkumoottorin rakenne .....	20
4.1.2	Oikosulkumoottorin käynnistäminen.....	22
4.2	Taajuusmuuttaja.....	23
4.3	Pehmokäynnistin.....	24
4.4	Momentin mittaus .....	25
4.4.1	HBM T5-momenttianturi .....	25
4.4.2	HBM MP55 -moduuli.....	27

4.5	Tehoanalysaattori.....	29
4.5.1	NGI NORMA AC-tehoanalysaattori D 5255 N.....	29
4.5.2	Tehoanalysaattorin kytkentä .....	31
5	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET .....	34

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Mikkelin ammattikorkeakoulu. Oppilaitoksen sähkölaboratoriossa olevaa sähkömoottorin testauslaitteistoa piti kehittää. Testauslaitteistosta ei saanut todellista vääntömomentin arvoa akselilta. Taajuusmuuttajan antamaa laskennallista arvoa voitiin lukea aikaisemmin kosketusnäytöltä. Toinen kehityskohde liittyi testauslaitteiston mittauksen kehittämiseen.

Sähkömoottorin testauslaitteisto käyttää CAN-väylätekniikkaa, jota ei ole muissa sähkölaboratorion laitteissa. Testauslaitteisto koostuu oikosulkumoottorista, momenttianturista, jarrusta ja tasasähkögeneraattorista, jolla tuotetaan kuormaa oikosulkumoottorille. Lisäksi laitteistoon kuuluu keskuksessa sijaitsevat taajuusmuuttaja, pehmokäynnistin, kosketusnäyttö ja älykäs moottorilähtö sekä CAN-väylän logiikka.

Ensiksi minun tuli tutustua jo olemassa olevaan laitteistoon sekä ennen kaikkea CAN-väylätekniikkaan, joka oli minulle täysin uusi asia. Laitteistoon tulevat osat olivat jo hankittuina koululle. Minun tuli suunnitella monitoroivan momenttianturin lähettimen sekä tehoanalysaattorin liittäminen osaksi testauslaitteistoa. Suunnitelmien valmistuttua minun pitää hankkia tarvittavat puuttuvat osat tukusta. Tämän jälkeen tulisi tehdä tarvittavat asennukset.

Työn tarkoituksena on, että jo olemassa olevaa sähkömoottorin testauslaitteistoa voitaisiin käyttää entistä paremmin opetuskäyttöön. Opiskelijat pääsevät tutkimaan ja perehtymään oikosulkumoottorin erilaisiin käyttösovelluksiin.

## 2 CAN-VÄYLÄTEKNIikka

CAN (Controller Area Network) –väylätekniikan on kehittänyt Robert Bosch GmbH 1980-luvun puolivälissä. Se suunniteltiin alun perin ajoneuvojen hajautettujen ohjausjärjestelmien reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon. Myöhemmin CAN on levinnyt myös toimilaitteiden ohjaukseen ja anturitietojen välittämiseen sekä ajoneuvoissa että teollisuudessa. CAN-väylää voidaan soveltaa käytännössä jokaiseen koneeseen kunhan tiedonsiirtoetäisyydet ja sanomat pidetään lyhyinä. Massatiedonsiirtoon, kuten video-

kuvan siirtoon, CAN ei ole toimiva ratkaisu, koska lähetetyssä viestissä itse datan osuus on pieni. /1, s. 129; 2./

CAN-väylän monipuolisen käytön mahdollistaa sen joustavuus. Käyttökohteen mukaan valitaan kaapelityyppi, siirtonopeus ja siirtomatka. CAN-väylää käytettäessä kaapeloinnin määrä vähenee, joka tuo paljon säästöjä niin kustannuksiin, tilantarpeeseen sekä painoon. Järjestelmä on modulaarinen, joten sitä on helppo laajentaa. /2;3./

CAN toteuttaa ISO:n (International Organisation for Standardization) ja OSI:n (Open Systems Interconnection) –mallin kaksi alinta kerrosta eli fyysisen- ja siirtoyhteskerroksen, eikä siten sovellu käytettäväksi suoraan ohjausjärjestelmissä ilman sovelluskerrosta. Ongelmien välttämiseksi suositellaan valittavaksi jokin olemassa oleva sovellustason standardi. /2;3./

## **2.1 Perusominaisuuksia**

Kaikkia väylään liitettyjä laitteita kutsutaan solmuiksi. CAN-väylä on luonteeltaan usean isännän väylä, jossa jokaisella solmulla yhtä suuret oikeudet lähettää sanomia väylälle. Sanomia ei osoiteta yhdellekään solmulle erikseen, vaan jokainen solmu itse päättää viestissä olevan tunnisteen perusteella, mitä tietoa se tarvitsee. Solmut voivat myös pyytää tarvitsemaansa sanomaa lähettämälle väylään sanomaa vastaavan kyselykehityksen. /1, s. 129;2./

Solmuilla ei myöskään ole kiinteitä osoitteita, mikä mahdollistaa vanhojen solmujen poistamisen tai uusien lisäämisen väylään. Uusia lisätessä on muistettava huolehtia siitä, että solmut puhuvat samaa kieltä, jotta lähettäjä ja vastaanottaja ymmärtävät sanoman sisällön samalla tavalla. /1, s. 129./

Yhden sanoman maksimipituus on 8 tavua (64 bittiä). Väylällä kulkevat bitit ovat joko dominantteja (looginen 0) tai resessiivisiä (looginen 1). Dominantit nollabitit kumoavat siis resessiiviset ykkösbitit. /2./

Käytännön sovelluksissa fyysisten protokollapiirien lisäksi tarvitaan muita toimintoja, kuten solmujen valvontaa ja verkonhallintaa. Näitä ei ole varsinaisissa väylästandar-

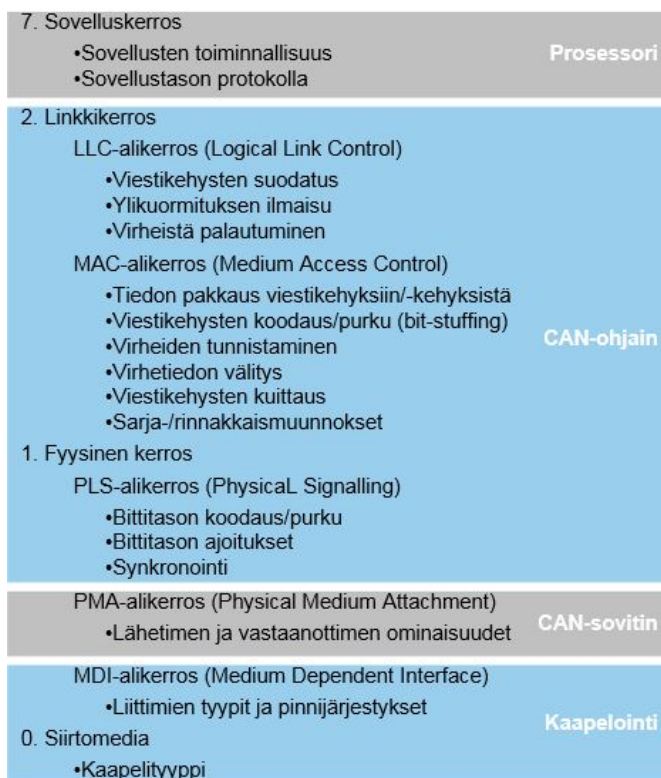
deissa määritelty, joten ne on toteutettava ohjelmallisesti kyseisen sovelluksen mukaan. /1, s. 129./

## **2.2 CAN-solmun rakenne**

CAN-solmun rakenteeseen sisältyy CAN-lähetin/vastaanotin, CAN-protokollapiiri ja tätä ohjaava mikroprosessori. Solmu voi olla myös itsenäinen, jolloin kaikki osat ovat erillisiä. Edellä mainitulla ratkaisulla on monia hyötyjä, koska se voidaan liittää lähes jokaiseen mikroprosessoriin, jonka ansiosta voidaan käyttää juuri sellaista käyttösovellusta kuin halutaan. Ainoina haittoina ovat kalliimpi rakenne sekä suurempi tilantarve piirilevyllä. /1, s. 135./

Integroidun CAN-ohjaimen rakenne taas koostuu erillisestä CAN-lähetimestä/vastaanottimesta ja yhdeksi piiriksi integroidusta CAN-protokollapiiristä sekä sitä ohjaavasta mikroprosessorista. Kyseisellä ratkaisulla saadaan suurempi toimintanopeus, koska ei tarvitse käyttää ulkoista väylää CAN-protokollapiiriin ja mikroprosessorin välillä, jolloin tieto siirtyy piirin sisällä. Kolmantena vaihtoehtona on rakenne, jonka kaikki osat on integroituna samaan piiriin. Tämä on nopein ja luotettavin ratkaisu, mutta samalla myös kallein. Kuvassa 1 on esitetty CAN-solmun tyypillinen rakenne sekä eri osien toiminnallisuus OSI-mallin mukaisesti. /1, s. 135;3./





**KUVA 1. CAN-solmun tyypillinen rakenne sekä eri osien toiminnallisuus /3/**

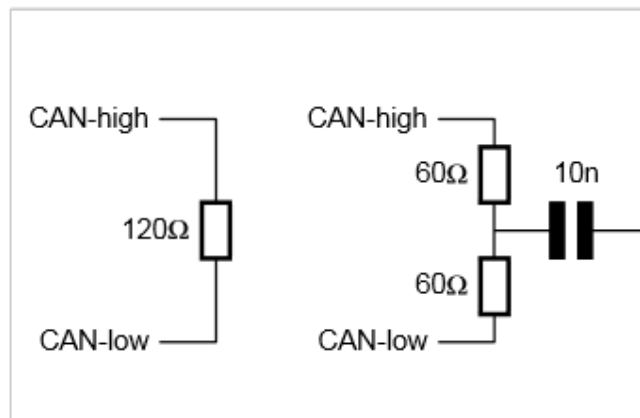
## 2.3 Fyysinen kerros

Fyysinen kerros jaetaan kolmeen osaan, jossa jokaisella osalla on oma tehtävänsä: fyysinen signaalikäsittely, jonka tehtävänä on bittien koodaus, ajoitus ja synkronoiminen; väylään liittyminen, johon kuuluu lähettimen/vastaanottimen ominaisuudet; sekä fyysinen väylä, joka sisältää johtimet ja liittimet. Seuraavissa kappaleissa on esiteltynä kolme erilaista fyysistä kerrosta. /1, s. 133./

### 2.3.1 High-speed CAN ja low-speed CAN

Yleisin käytetty fyysinen kerros on high-speed CAN, joka on määritelty standardissa ISO 11898-2. Siitä käytetään myös nimitystä ISO high speed. Sen suurin sallittu siirtonopeus on 1 Mbit/s, jolloin väylän maksimipituus on 40 metriä. High-speed-väylässä väyläkaapeli kulkee jokaisen solmun kautta, ja se päätetään molemmista päistä 120 ohmin päätevastuksilla, jotka kytketään CAN-high:n ja CAN-low:n välille. Terminoinnin tehtävänä on estää väylään lähetettyjen signaalien palaaminen kaiku- na väylään, joka aiheuttaa häiriöitä väylän tiedonsiirrossa. Terminointi voidaan tehdä

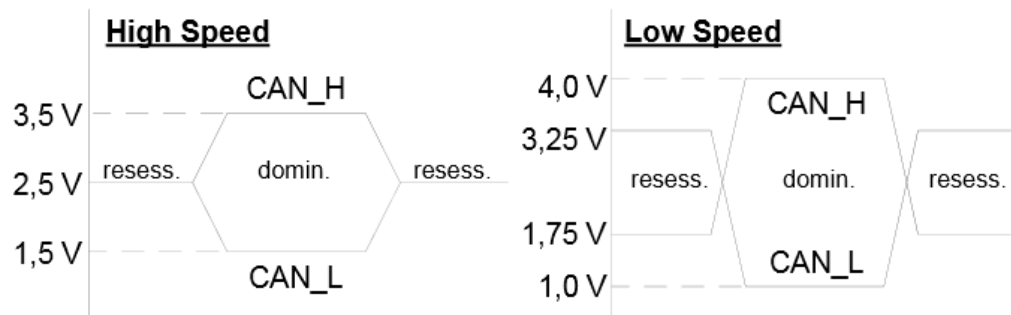
myös käyttämällä ns. ”split”-terminaattoria, jossa 120 ohmin päätevastus on muodostettu kahdesta 60 ohmin vastuksesta, joiden välille on kytketty kondensaattori signaaliahan. ”Split”-terminaattori parantaa etenkin suurilla tiedonsiirtonopeuksilla CAN-high:n ja CAN-low:n välistä symmetriaa, joka parantaa väylän häiriönsietoa. Kuvassa 2 on esitetty terminoinnin pääperiaatteet. /2;3./



**KUVA 2. Päätevastus (vas.) ja ”Split”-terminaattori (oik.) /3/**

Standardi ISO 11519-2 on tarkoitettu matalille siirtonopeuksille. ISO low speed -standardi eroaa ISO high speed -standardista ainoastaan fyysisen kerroksen parametrien osalta, protokolla on aivan identtinen.

CAN-väylän tiedonsiirto perustuu CAN-high:n ja CAN-low:n välisten johdinten jännite-eroon. Etuna on se, että ulkopuolisen sähkömagneettisen säteilyn vaikuttaessa väylään, vaikutus molempiin johtimiin on sama ja niiden välinen jännite-ero säilyy vakiona, eikä näin ollen vaikuta tiedonsiirtoon. ISO-standardi määrittelee suuremmille tiedonsiirtonopeuksille (125 Kbit/s – 1 Mbit/s) molemmille johtimille resessiivisessä tilassa arvon 2,5 voltia, jolloin jännite-ero on 0 voltia. Dominantissa tilassa standardi esittää CAN-high:lle 3,5 voltia CAN-low:lle 1,5 voltia, jolloin jännite-ero on 2 voltia. Hitaammille nopeuksille (0-125 Kbit/s) resessiivisessä tilassa vastaavat arvot ovat CAN-high:lle 1,75 voltia ja CAN-low:lle 3,25 voltia ja dominantissa tilassa CAN-high:lle 4,0 voltia ja CAN-low:lle 1 voltia, jolloin jännite-erot ovat 2,5 voltia ja 3 voltia. Kuvassa kolme on esitetty CAN-low:n ja CAN-high:n jännitetasot. /1, s. 134;3./

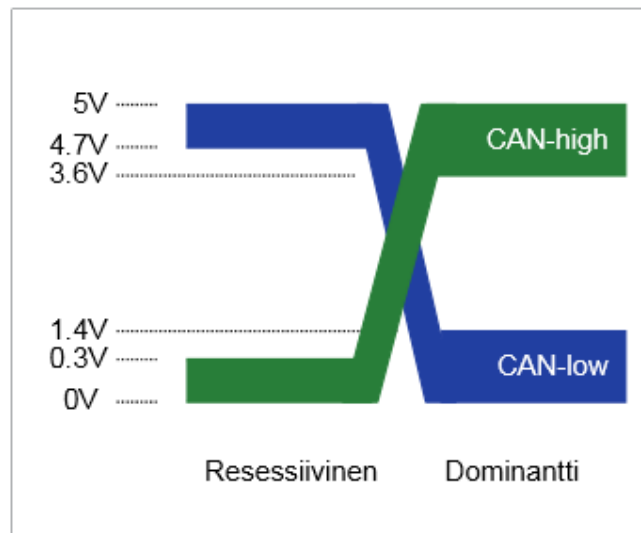


**KUVA 3. CAN-high:n ja CAN-low:n jännitetasot /2/**

ISO:n CAN-standardeissa kaapeliksi vaaditaan parikaapelia. Yleisimmin käytetty kaapeli suurilla siirtonopeuksilla on kierretty ja suojattu parikaapeli. Matalilla siirtonopeuksilla ei välttämättä tarvitse käyttää edellä mainittua ratkaisua. ISO:n CAN-standardit eivät määritä liittintyyppiä, mutta muutamia sähköisiä parametreja liittimelle on annettu. Liittimien standardoiminen tapahtuu yleensä CAN-tukiryhmissä tai sovel-luskohtaisissa standardeissa. CAN in Automation -ryhmä on standardoinut liittimeksi yhdeksännapaisen D-liittimen. Mikäli halutaan käyttää jotakin muuta kaapelia kuin parikaapelia, ainoana vaatimuksena on, että väylälle lähetetyt dominantit nollabitit kumoavat resessiiviset ykkösbitit. /2./

### 2.3.2 Fault-tolerant CAN

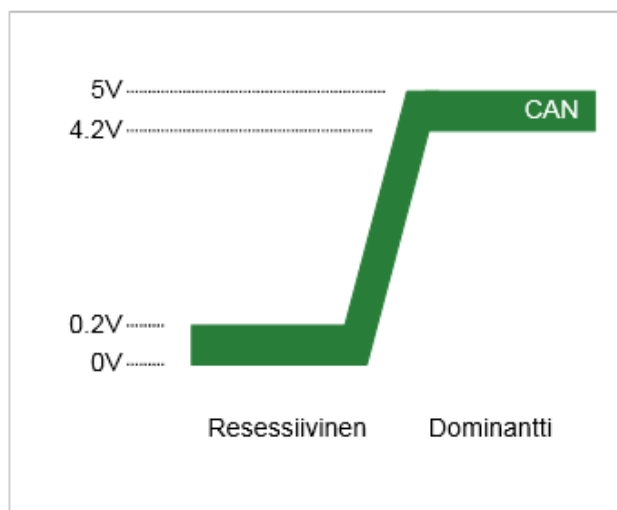
Fault-tolerant eli vikasietoista CAN:iä käytetään autoteollisuudessa korielektronikas-sa, joka on määritelty standardissa ISO 11898-3. Se vastaa toiminnaltaan high speed CAN:iä, mutta se voi toimia hetkellisesti pelkästään CAN-high:n tai CAN-low:n avul-la. Sen suuremmasta jännite-erosta johtuen väylän suurin sallittu toimintanopeus on 125 kbit/s, jolloin väylän maksimipituus on 500 metriä. Kuvassa 4 on esitetty vika-sietoisen CAN:in jännitetasot. Vikasietoista CAN:iä ei tarvitse terminoida. /3./



**KUVA 4. Vikasietoisen CAN:in jännitetasot /3/**

### 2.3.3 Single-wire CAN

Single-wire eli yksijohdin CAN on SAE:n standardissa SAE J2411 määrittelemä ja erityisesti autoteollisuudessa käytetty fyysinen kerros. Tiedonsiirto tapahtuu nimensä mukaisesti yhtä CAN high:ta vastaavaa väyläsignaalia pitkin. Vastaanotto taas perustuu jännitetason mittaukseen eikä jännite-eroon. Siirtonopeus on rajoitettu 33 kbit/s tai 44,1 kbit/s. Kuvassa 5 on esitetty single-wire CAN:in jännitetasot. Single-wire CAN:iä ei myöskään tarvitse terminoida. /3./



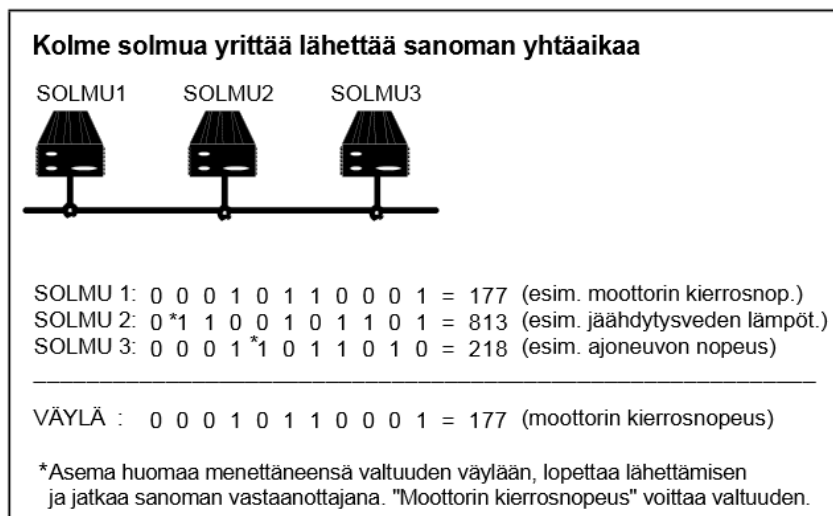
**KUVA 5. Single-wire CAN:in jännitetasot /3/**

## 2.4 Siirtoyhteyskerros

Siirtoyhteyskerros on standardoitu virallisesti standardissa ISO 11898. Se käsittää mm. itse tietokehyksen, virheen havaitsemisen, niihin reagoimisen ja viestien prioriteetin. /1, s. 130./

## 2.5 Kilpavaraus

Jokainen solmu voi lähettää väylälle sanomia ilman, että niitä olisi tarkoitettu yhdellekään solmulle erikseen. Jokainen solmu päättää sanoman tunnisteiden perusteella, tarvitseeko se tietoa vai ei. Tätä varten jokaiseen sanomaan on koodattu tunniste (prioriteetti), joka auttaa kilpavarauksilanteessa, jolloin monta solmua yrittää samanaikaisesti lähettää sanomia väylään. Usean solmun lähettäessä yhtäaikaista sanomia väylään, pienimmän prioriteetin omaava saa ensimmäisenä sanomansa lähetettyä. Tässä tilanteessa muut solmut keskeyttävät lähetyksensä ja yrittävät uudestaan väylän vapautuessa. Kilpavarauksitilanne on esitetty kuvassa 6. /1, s. 130;2./

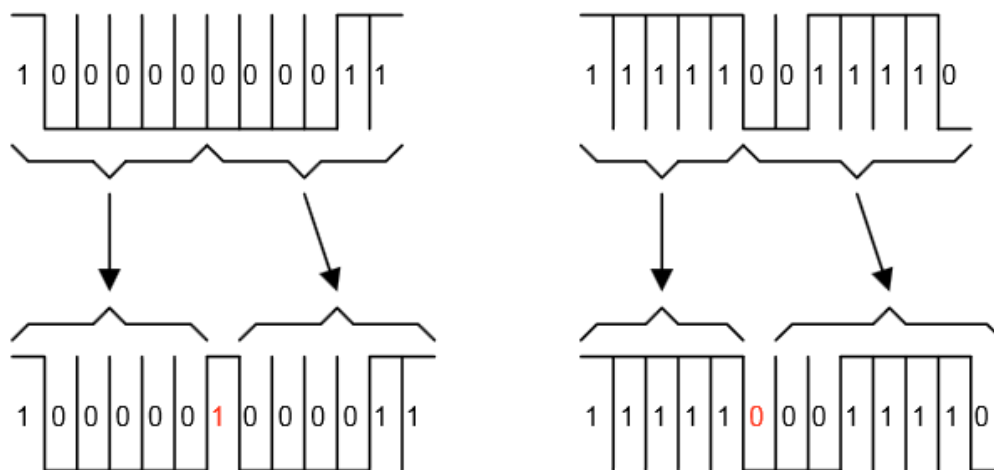


**KUVA 6. Kilpavarauksitilanne /2/**

## 2.6 Bit Stuffing

Väylällä liikkuvat muodostetaan käyttämällä nollautumatonta NRZ (No Return to Zero) –menetelmää, jossa lähetettävät bitit koodataan kantataajuisesti. Bittien erottelu perustuu ainoastaan niiden kesto aikaan, jolloin jännitetaso ei muutu kahden peräkkäi-

sen samanarvoisen bitin välillä. Tällä menetelmällä pystytään estämään liian monen samanarvoisen bitin esiintyminen. Mikäli lähetettävässä bittijonossa on viisi samaa bittiä peräkkäin, niiden perään lisätään yksi vastakkainen stuff-bitti, minkä vastaanottaja karsii pois. Stuff-bitit parantavat solmujen välistä synkronointia sekä helpottavat virheiden havaitsemista. Kuvassa 7 on esitetty bit-stuffingin toimintaperiaate. /1, s. 131,133./



**KUVA 7. Kehys ennen (ylh.) ja jälkeen (alh.) ja bit-stuffing (pun.) /3/**

## 2.7 Kehysrakenne

CAN-protokolla määrittelee neljä erilaista viestikehystä /3/:

- sanomakehys
- kyselykehys
- virhekehys
- viivekehys.

### 2.7.1 Sanomakehys / datakehys

Kuvassa 8 on esitetty CAN-sanomakehyksien rakenne:

- SOF (Start Of Frame): Sanomakehyksen aloituskenttä, joka on yhden dominantin bitin mittainen. Käytetään myös vastaanottavien solmujen toiminnan synkronoiseen.

- ID (Identifier): Sanomakehyksen tunnisteosa, joka koostuu standardimuodossa 11 bitistä ja laajennetussa 11+18 bitistä. Yksilöi kaikki sanomakehykset. Tunnistekentän tietoa käytetään hyväksi kilpavarauksilanteessa, jolloin eniten merkitsevä bitti lähetetään ensin.
- RTR (Remote Transmission Request) -bitti: Viestinpyyntöbitti, joka mahdollistaa sanomien lähettämisen pyynnön perusteella. Laajennetussa osassa sen tilalla on SRR (Substitute Remote Request).
- IDE (Identifier Extensio) –bitti: Määrää sanomakehyksen tyyppin. Mikäli bitti on dominantti, sanomakehys sisältää 11 bittisen tunnisteon. Resessiivisen bitin ollessa kyseessä sanomakehys sisältää 29 bittisen tunnisteon.
- RES-bitti: Bitti, joka on varattu. Sen pitää olla lisäksi aina dominantti.
- DLC (Data Length Code) -kenttä: Ohjauskenttä, joka kertoo tietokentän tavujen määrän (0...8). Koostuu kuudesta bitistä.
- DATA-kenttä eli tietokenttä: Kentän pituus voi 0...64 bittiä. Tyhjää tietokenttää käytetään toimintojen tahdistuksessa ja kyselyissä.
- CRC (Cyclic Redundancy Code) -kenttä: Tarkistuskenttä, joka sisältää tietokentän perusteella lasketun tarkistustiedon, minkä pituus on 15 bittiä. Tarkistuskenttää seuraa yhden bitin mittainen kentän lopetusosa.
- ACK (Acknowledge) –kenttä: Kuittauskenttä, joka muodostuu kuittausbitistä ja erotinbitistä. Kuittausbitin aikana jokainen vastaanottaja ilmoittaa vastaanotaneensa virheettömän viestin ja pakottaa kuittausbitin dominanttiin tilaan. Kuittausbitin jälkeisen erotinbitin ACD (ACK delimiter) pitää olla aina resessiivinen. Mikäli erotinbitti on dominantti, solmujen synkronoinnissa on tällöin tapahtunut virhe.
- EOF (End Of Frame) –kenttä: Sanomakehyksen lopetuskenttä, joka on 7 bitin pituinen. Tämän aikana lähetetään myös mahdollinen virheilmoitus. /1, s. 131;3./

#### Standardiformaatti

Pit. 47 - 111 bittiä + stuff-bitit



#### Laajennettu formaatti

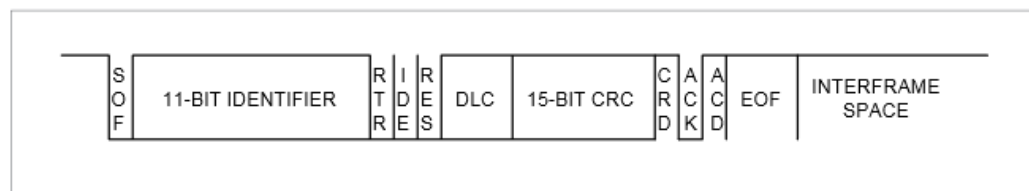
Pit. 67 - 131 bittiä + stuff-bitit



## KUVA 8. Sanomakehyksen rakenne /2/

### 2.7.2 Kyselykehys / RTR-kehys

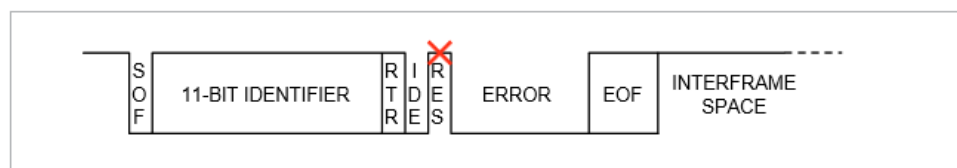
RTR-kehys on datakehysten erikoistapaus, jossa solmu voi pyytää toista solmua lähettämään datakehysten. RTR-kehys ei koskaan sisällä datatavuja, vaan DLC-kenttä kertoo vastaavan datakehysten datatavujen lukumäärän. Kuvassa 9 huomataan, että RTR-kehyksellä on suurempi prioriteetti kuin vastaavalla datakehyksellä, koska RTR-ohjausbitti on dominantissa tilassa aktiivinen. /3./



KUVA 9. CAN RTR-kehys /3/

### 2.7.3 Virhekehys

Mikäli solmu havaitsee virheellisen viestin väylällä, tulee sen keskeyttää meneillään oleva lähetys virhekehyksellä. Kuudesta peräkkäisestä dominantista bitistä koostuva aktiivinen virhekehys, mikä rikkoo ns. bit-stuffing säännön. Jokaisen solmun tulee keskeyttää viestikehyksensä lähetys välittömästi virhekehysten havaittuaan. Kuvassa 10 on esitetty, miten varattu ohjausbitti on virheellisesti resessiivinen, vaikka sen pitäisi olla dominantti. /3./

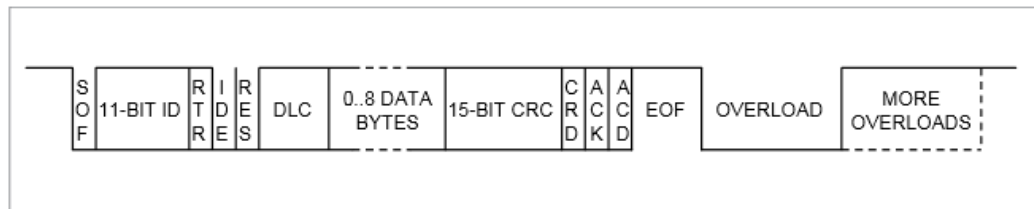


KUVA 10. Virhekehys /3/

### 2.7.4 Viivekehys



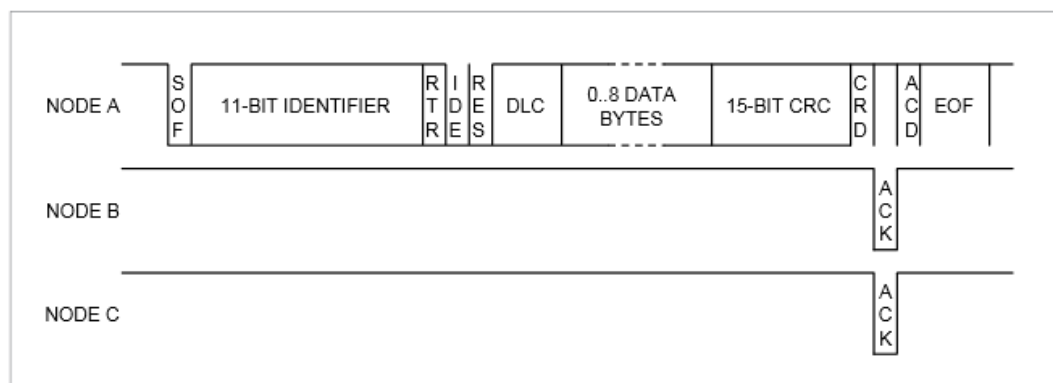
Viivekehysten avulla solmu voi pitää väylää varattuna yhden tai useamman kehyksen verran. Viivekehys on tarkoitettu etenkin hitaammille solmuille, jotta ne voisivat pitää väylää varattuna edellisen vastaanotetun sanoman käsittelyn ajan. Yhden viivekehysten pituus on 6 dominanttia bittiä, ja sitä saa lähettää ainoastaan välittömästi datakehysten lopetuskentän jälkeen. Kuvassa 11 on esimerkki viivekehksestä. /3./



**KUVA 11. Esimerkki viivekehksestä /3/**

### 2.7.5 Kuittaus

CAN-väylässä lähettäjä toteaa sanoman lähetyksen onnistuneeksi, mikäli vähintään yksi solmu kuittaa sanoman vastaanotetuksi muuttumattomana. Mikäli näin ei ole, aiheuttaa se viestikehyksen automaattisen uudelleenlähetyksen. Kuvan 12 esimerkissä nähdään miten solmu a lähettää sanoman ja solmut b ja c kuittaavat sen. /3./



**KUVA 12. Esimerkki sanoman lähetyksestä (solmu A) ja sen kuittauksesta (solmut B ja C) /3/**

### 2.7.6 Viestikehyksen tarkistus

Kun solmu vastaanottaa sanoman, tarkistaa se viestikehyksen kiinteiden kenttien oikeellisuuden, viestikenttien eheyden tarkistussuman avulla sekä bit-stuffing menette-

lyn toteutumisen. Virheen havaitessaan jokainen lähettävä solmu lopettaa viestikehyksen lähetyksen välittömästi sekä jokaisen vastaanottavan solmun tulee merkitä kyseinen viestikehyks virheelliseksi virhekehyyksen avulla. /3./

## 2.8 Virheidenhallinta

Väylässä on todella monipuolinen virheidenhallinta. Virheidenhallinnan tarkoitus on varmistaa, että jokainen sanoma siirtyy muuttumattomana väylän yli. Mikäli virheitä kuitenkin havaitaan, pyrkii se asteittain pienentämään todennäköisten virheitä aiheuttavien solmujen vaikutuksia niiden solmujen tiedonsiirtoon, jotka toimivat normaalisti. Virheidenhallinnan kolme perustoimintoa ovat muuttumattomana vastaanotetun viestikehyksen kuittaaminen, lähetetyn tilan tarkistaminen sekä viestikehyksen tarkistaminen. /3./

Solmu, joka havaitsee virheellisen sanoman ensimmäisenä ja lähettää virheilmoituksen, aikaansaa virheen muissa solmuissa. Tässä tapauksessa kaikki muut solmut tietävät, että kyseistä vastaanotettua sanomaa ei saa käyttää, koska se on todettu virheelliseksi. /1, s. 131./

Solmut sisältävät myös virhelaskurin vastaanotto- ja lähetysvirheille. Kun kyseessä oleva laskuri saavuttaa arvon 127, solmu siirtyy passiiviseen tilaan. Tässä tilassa ollessaan se lähettää virheen havaitessaan vain passiivista virhekehystä, joka koostuu resessiivisistä biteistä, eikä näin ollen haittaa väylän muuta liikennettä. Mikäli virhelaskuri saavuttaa arvon 255, solmu poistuu automaattisesti väylältä. Solmun poistues- sa väylältä, se saadaan takaisin toimintaan resetoimalla solmu. Virhelaskurien lukuarvoja pystytään myös pienentämään onnistuneen kommunikaation avulla. /1, s. 133./

Verkon tulisi toimia myös silloin, kun jokin osa siitä on vioittunut. Esimerkiksi oikosulku verkossa aiheuttaa muutoksen lähetettyyn signaaliin. Verkko mahdollistaa antureiden yhteiskäytön, ja näin ollen sen käyttämän protokollan pitää huolehtia siitä, että anturitieto on jokaisessa sitä käyttävässä kohteessa sama. Myös tässä tapauksessa virheellistä tietoa ei saa käyttää. /1, s. 131,132./

Esiintyvät viat on kyettävä havaitsemaan ja paikallistamaan tehokkaasti. Vian syynä on hyvin usein hetkellinen ohimenevä häiriö. Tässä tapauksessa voidaan selvittää sanoman uudelleen lähetyksellä. Pidempiaikaiset ja pysyvät viat aiheuttavat helposti väylän tukkeutumisen, jolloin järjestelmän on pystyttävä päättämään vian pysyvyys. /1, s. 132./

### **3 KESKUS**

Keskus sisältää moottorin testipenkin hallintalaitteet, CAN-väylän ohjauskaapelit sekä väylän käyttämät laitteet. Lisäksi keskus sisältää pehmokäynnistimen ja taajuusmuuttajan. Keskuksen oveen on asennettu kosketusnäyttöpaneeli, hätä-seis -painike sekä nokkakytkimet. Nokkakytkimillä valitaan moottorin käyttötapa ja kytkentä (tähti / kolmio). Keskus on kooltaan 570 mm leveä ja 1900 mm korkea. Seinät ja ovi ovat peltiä. Oveen on lisäksi tehty reiät taajuusmuuttajalle ja pehmokäynnistimille, jotta niitä voitaisiin helpommin käyttää.

Johtokourut on sijoitettu siten, että 400/230 V käyttö- ja ohjauskaapelit ja CAN-väylän ja 24 V:n ohjauskaapelit risteilisivät niin vähän kuin mahdollista, koska CAN-Open-väylä on erittäin häiriöaltis. Muut komponentit on asennettu siten, että niitä on helppo huoltaa ja korjata tarvittaessa. Johtokourut on kiinnitetty 5 millisillä muoviniiteillä. Kourujen ja muoviniittien avulla varmistettiin, että yksittäiset johtimet eivät kosketa missään vaiheessa metalliin. Johdotuksen pääperiaate keskuksessa on, että vasemmalla puolella kulkee 400/230 V: n johtimet ja oikealla puolella kulkee CAN-Openin ja 24 V:n johtimet.

#### **3.1 Keskuksen yläosa**

Keskuksen yläosaan on asennettu CAN-väylän komponentit sekä johdotukset. Keskuksessa on syvyysäädettävät pystykiskot. Perimmäisiin kiskoihin on asennettu pohjalevy. Pohjalevy on asennettu Wronic-ruuveilla johtokourujen asennuksien helpottamiseksi. Johtokourut kulkevat keskuksen molemmissa reunoissa sekä keskellä. Vasempaan yläkulmaan on asennettu Modicon Premium-logiikka.

Tämän oikealle puolelle on asennettu DIN-kisko, jossa on TSX CPP 100-moduuli, jonka avulla logiikka liitetään CAN-väylään. Sen oikealla puolella on Advantys STB-hajautusjärjestelmä. Lisäksi DIN-kiskon oikeassa laidassa on Dran 120 24 Vdc-jännitelähde. Logiikan ja DIN-kiskon alapuolelle on asennettu johtokouru poikittais-suuntaan. Tämän johtokourun alapuolelle on asennettu DIN-kisko, johon on asennettu Te Sys U -moottorikäynnistin ja Te Sys T -moottorinhallintajärjestelmä. Näiden oikealle puolelle on kiinnitetty CAN-väylän jakopaneelit. Kuvassa 13 on esitetty tarkemmin edellä mainittujen komponenttien sijoittelu.



**KUVA 13. Keskuksen yläosa**

### **3.2 Keskuksen ovi ja keskiosa**

Etummaisiiin kiskoihin on kiinnitetty pohjalevy, johon on asennettu Altivar 71 -taajuusmuuttaja sekä Altistart 48 -pehmokäynnistin. Asennuslevyn molemmissa reunoissa on johtokourut, joissa kulkevat edellä mainittujen komponenttien johdotukset. Kuvassa 14 on esitetty keskuksen keskiosa.



**KUVA 14. Keskuksen keskiosa**

Keskuksen oveen on asennettu hätäseis-painike, Magelis-kosketusnäyttö sekä kaksi nokkakytkintä. Vasemmanpuoleisella nokkakytkimellä valitaan tapa, jolla oikosulkumoottoria ohjataan. Tavat ovat suorakäynnistys, taajuusmuuttaja sekä pehmokäynnistys. Oikeanpuoleisella nokkakytkimellä valitaan oikosulkumoottorin kytkentätapa, kolmio- tai tähtikytkentä. Lisäksi keskuksen vasempaan reunaan on asennettu moottorin turvakatkaisija ja läpiviennit kaapeleille. Kuvassa 15 on esitetty keskuksen oven komponenttien sijoittelu.



**KUVA 15. Keskuksen ovi**

### 3.3 Keskuksen alaosa

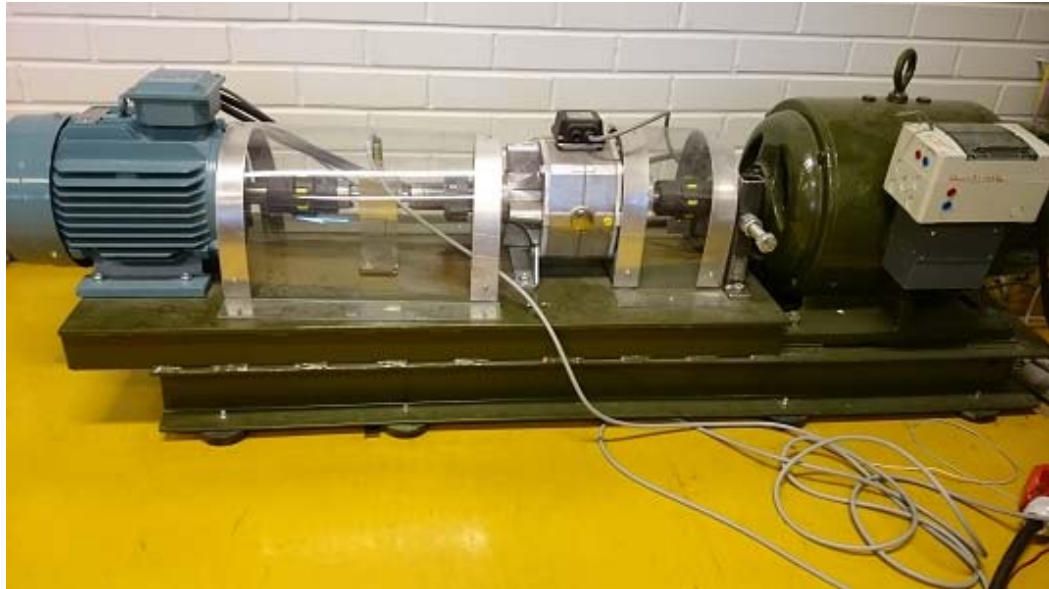
Keskuksen alaosaan on asennettu kuusi suko-pistorasiaa. Näiden alapuolelle on asennettu johtokouru, jonka sisäpuolella on N- ja PE-kiskot sekä 24 voltin jakopiste. Tämän alapuolelle on asennettu DIN-kisko, jossa on pääkytkin, neljä johdonsuojakatkaisijaa, kaksi GV2-moottorinsuojakatkaisijaa sekä kaksi kontaktoria. Tämän alapuolella olevassa DIN-kiskossa on neljä kontaktoria vasemmassa laidassa sekä kytkimen ohjausrele oikeassa laidassa. Keskuksen alimmasta osasta löytyy kolme pystyasentoon asennettua DIN-kiskoa. Vasemmanpuoleiseen kiskoon on asennettu riviliittimiä yläreunaan ja alareunaan PE- ja N-lisäkiskot. Keskimmäiseen kiskoon on asennettu riviliittimiä, joihin on liitetty kontaktoreja. Oikeanpuoleiseen kiskoon on asennettu myös riviliittimiä, joihin logiikan I/O-liitynnät tulevat. Johdotukset on tehty hienosäkeisillä johtimilla, joiden päihin on puristettu kartion muotoiset holkit liitosten pysyvyyden parantamiseksi ja riviliittimiin kytkemisen helpottamiseksi. Kuvassa 16 on esitetty keskuksen alaosan komponenttien sijoittelu.



**KUVA 16. Keskuksen alaosa**

#### **4 TESTAUSLAITTEISTO**

Testauslaitteistoa käytetään Sähkökäyttöjen laboraatiot -opintojaksolla, joka kuuluu sähkötekniikan koulutusohjelman pakollisiin ammattiopintoihin Mikkelin ammatti-korkeakoulussa. Laitteistolla mitataan muun muassa oikosulkumoottorin tehoa kol-mella eri käyttötavalla: taajuusmuuttajalla, pehmokäynnistimellä sekä suorakäytöllä. Testattavat laitteet on asennettu moottorin alustaan siten, että vasemmassa päässä on oikosulkumoottori. Sen jälkeen tulee kytkin, jonka avulla momenttianturi on kytketty akseliin. Momenttianturin jälkeen tulee jarru. Viimeisenä alustan toiseen päähän on asennettu tasasähkögeneraattori kuorman tuottamiseen. Kuvassa 17 on esitetty moot-toripenkin rakenne. Testauslaitteiston tärkeimmät komponentit on esitetty seuraavissa kappaleissa.



**KUVA 17. Moottoripenkin rakenne**

#### **4.1 Oikosulkumoottori**

Testattavaksi moottoriksi on valittu ABB:n 5,5 kW:n oikosulkumoottori, jonka nimellisvirta on 11,3 A ja nimellismomentti on 36 Nm. Kuvassa 18 on esitetty testattava oikosulkumoottori. Oikosulkumoottori on yleisimmin käytetty vaihtosähkömoottorityyppi. Oikosulkumoottorin tehtävä on muuttaa siihen syötettyä sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi. Oikosulkumoottoria voidaan nimittää myös epätahtimoottoriksi. Epätahtinimitys tarkoittaa sitä, että moottorin roottorin pyörimisnopeus poikkeaa moottorin sisällä pyörivän magneettikentän pyörimisnopeudesta eli tahtinopeudesta.

/4./

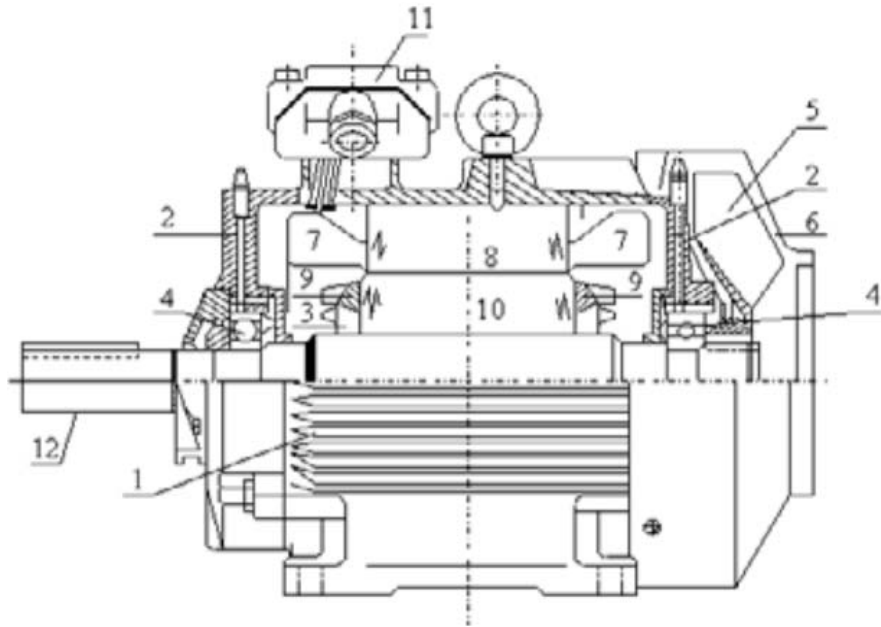




**KUVA 18. ABB:n 5,5 kW:n oikosulkumoottori**

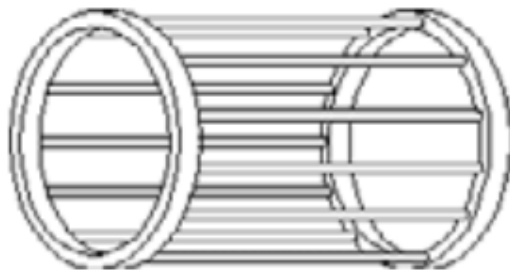
#### **4.1.1 Oikosulkumoottorin rakenne**

Oikosulkumoottorin rakenne on hyvin yksinkertainen, mikä tekee siitä hyvin suosittuun moottoriin. Oikosulkumoottori ei sisällä erillisiä magnetointikämmityksiä, vaan suhteellisen yksinkertaiset staattori- ja roottorikämmitykset, jotka ovat moottorin toiminnan kannalta tärkeimmät osat levypaketteineen. Nämä muodostavat moottorin sähköisen toiminnan aktiiviset osat. Muut osat ovat passiivisia osia, joiden tehtävänä on pitää aktiiviset osat paikoillansa, johtaa sähköä moottoriin tai moottorista pois sekä siirtää pyörivä liike moottorista työkoneseen. Rakenteensa puolesta oikosulkumoottorit ovat todella käyttövarmoja, koska käytännössä vain laakerit ovat kuluvia osia. Erään oikosulkumoottorin rakenne on esitetty kuvassa 19. /4./



**KUVA 19. Oikosulkumoottorin rakenne. 1 staattorin runko, 2 laakerikilvet, 3 roottori, 4 laakerit, 5 tuuletin, 6 tuulettimen suojus, 7 staattorikäämitys, 8 staattorin levypaketti, 9 roottorin käämitys, 10 roottorin levypaketti, 11 liitäntäkotelo, 12 akseli /4/**

Oikosulkumoottorin roottorin käämitys on ns. häkkikäämitys, joka sijoitetaan roottorin uriin ja suljetaan molemmista päistä oikosulkurenkailla. Normaalisti roottorikäämityksessä on yksi sauva yhtä uraa kohti. Moottorin ominaisuuksia voidaan muuttaa sauvan muotoa ja lukumäärää muokkaamalla. Roottorikäämitys on valmistettu yleisimmin alumiinista painevalamalla. Roottorikäämiä ei erikseen eristetä roottoriraudasta. Häkkikäämityksen rakenne on esitetty kuvassa 20. Staattorikäämitys valmistetaan kuparilangasta ja sijoitetaan staattorin uriin. Staattorikäämitys on symmetrinen, ja se kytketään joko tähteen tai kolmioon. Pyörivä magneettikenttä, joka on oikosulkumoottorin toiminnan edellytys, syntyy staattorin kolmivaihekäämityksessä ilman erillisiä lisälaitteita.

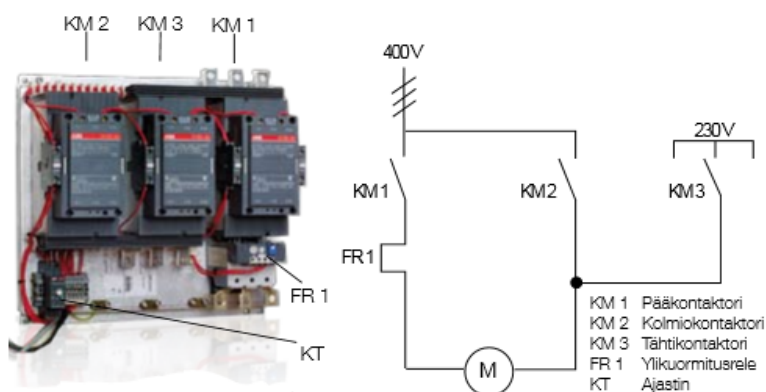


**KUVA 20. Häkkikäämityksen rakenne /4/**

#### 4.1.2 Oikosulkumoottorin käynnistäminen

Oikosulkumoottori ottaa suhteellisen korkean käynnistysvirran. Käynnistysvirta on normaalisti 5-10-kertainen nimellisvirtaan nähden, ellei sitä jotenkin rajoiteta. Korkea käynnistysvirta voi aiheuttaa liian suuren jännitteen aleneman olosuhteissa, joissa moottoria syöttävä pienjännitejohto ja jakelumuuntaja ovat väärin mitoitetuja. Se aiheuttaa häiriöitä myös muihin samaan johtoon liitettyihin kojeisiin. Suuresta käynnistysvirrasta huolimatta moottorin kehittämä vääntömomentti on yleensä pienempi kuin moottorin nimellismomentti.

Tässä testuslaitteistossa käynnistysvirtaa rajoitetaan käyttämällä tähtikolmiokäynnistintä (Y/D-käynnistin), pehmokäynnistintä tai taajuusmuuttajaa. Taajuusmuuttajaa käsitellään tarkemmin luvussa 4.2 ja pehmokäynnistintä luvussa 4.3. Tähtikolmiokäynnistyksessä moottori käynnistetään tähdessä. Moottorin saavuttaessa lopullisen pyörimisnopeutensa voidaan kytkentä vaihtaa kolmioon. Käynnistysvirta tähtikytkennässä on n. 25 - 33 % kolmiokytkennän ottamasta käynnistysvirrasta ja käynnistysvääntömomentti vastaavasti n. 20 - 33 % kolmiokytkennän käynnistysvääntömomentistä. Tähtikolmiokäynnistin koostuu varsinaisesta suojakontaktorista, Y-kontaktorista, D-kontaktorista sekä aikareleestä, joka avaa käynnistysajan kuluttua Y-kontaktorin ja sulkee D-kontaktorin. Kuvassa 21 on esitetty tähtikolmiokäynnistin ja sen kytkentäkaavio. /4;5, s. 194./



**KUVA 21. Tähtikolmiokäynnistin ja kytkentäkaavio /6/**

## 4.2 Taajuusmuuttaja

Staattinen taajuusmuuttaja on elektroninen laite, joka mahdollistaa vaihtovirtamoottorin pyörimisnopeuden säätämisen portaattomasti. Taajuusmuuttaja ohjaa moottorin pyörimisnopeutta muuttamalla sähköverkon vaihtojännitteen taajuutta. Tätä ominaisuutta on hyödynnetty paljon teollisuudessa mm. pumppujen, puhaltimien, kuljettimien ja paperikoneiden ohjaamisessa. /7, s. 7./

Portaattomalla nopeudensäädöllä voidaan saavuttaa monia etuja. Tärkein etu on energiansäästö, kun moottoria ajetaan sen hetkisen tarpeen mukaan. Prosesseja voidaan parantaa nopeuden sopeuttamisella tuotantoprosessiin, jolloin mm. tuotantoa voidaan lisätä sekä materiaalin kulutusta ja hylkymääriä voidaan vähentää. Laatu paranee, kun käynnistykset ja pysäytykset vähenevät, jolloin vältetään koneistojen tarpeettomilta kuormituksilta. Taajuudenmuuttaja ei edellytä myöskään määräaikaishuoltoa, eli huollon tarve pienenee. Portaattomalla nopeudensäädöllä voidaan myös vaikuttaa työympäristön viihtyvyyteen, nopeutta pienentämällä voidaan vaikuttaa esim. melutasoon. /7, s. 8-9./

Taajuusmuuttajan neljä pääosaa ovat tasasuuntaaja, välipiiri, vaihtosuuntaaja sekä ohjaus- ja säätöpiiri. Tasasuuntaajan tehtävänä on muuttaa syöttöverkon kolmivaiheinen vaihtojännite sykkiväksi tasajännitteeksi. Tasasuuntaaja on joko ohjattu tai ohjaamaton. Välipiiri tasaa tasasuuntaajasta saatua tasajännitettä sekä toimii energiavarastona. Vaihtosuuntaaja on taajuusmuuttajan viimeinen moduuli ennen moottoria, jonka tehtävänä on muuttaa tasajännite halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntaus toteutetaan yleisimmin pulssinleveysmodulaation avulla. Ohjaus- ja säätöpiirillä ohjataan taajuusmuuttajan puolijohdekomponentteja. Lisäksi se ottaa viestejä vastaan ympärillä olevista laitteista tai lähettää niitä toisiin laitteisiin. /7, s. 43-51./

Tähän laitteistoon on asennettu Telemecaniquen Altivar 71 -taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja on varustettu CANopen-liitännällä, joten sitä voidaan ohjata väylän kautta. Se on erittäin käyttäjäystävällinen selkeiden valikoiden ja näyttöruudun ansioista. Taajuusmuuttajan käyttöönotto on todella helppoa Simply Start -valikon avulla. /8./

### 4.3 Pehmokäynnistin

Pehmokäynnistimen avulla oikosulkumoottori voidaan käynnistää pehmeästi. Pehmokäynnistimen suosituimpia käyttökohteita ovat pumpput, puhaltimet ja kuljettimet. Sen toiminta perustuu moottorille syötetyn jännitteen rampitukseen lähtöjännitteestä täydeksi jännitteeksi. Moottorille syötetään käynnistuksen alussa vain niin vähän jännitettä, että vaihteiston rattaat tai vetohihnat kiristyvät. Näin vältetään turhilta nytkäytysiltä ja sitä kautta laitteiston liialta kuormittamiselta. Pehmokäynnistin kasvattaa vähitellen jännitettä ja momenttia, jolloin moottori alkaa kiihtyä. Sen avulla vältetään myös verkon jännitteenalenemalta, koska pehmokäynnistimen käyttö pienentää aloitusvirtaa.

Pehmokäynnistin koostuu vain muutamasta pääosasta. Tärkeimmät osat ovat tyristorit, jotka säätelevät moottorille menevää jännitettä, sekä tyristoreita säätelevä piirilevykoonpano. Tyristorit ovat vasta-rinnankytkettyjä, kaksi jokaista vaihetta kohden. Näiden lisäksi pehmokäynnistimessä on lämpöä poistavat jäähdytysriipa ja tuuletin, virtamuuntajat, jotka mittaavat virtaa, kotelo sekä tarvittaessa näyttö ja näppäimistö. /6./

Tähän laitteistoon on asennettu Telemecanique Altistart 48 -pehmokäynnistin. Käytön otto tehdään Setmenu-valikossa, jossa tarvittavat parametrit asetellaan, kuten esimerkiksi oikosulkumoottorin kilpiarvot. Kaikissa tapauksissa moottorin nimellisvirta asetellaan moottorin arvokilven mukaisesti, mikä on 11,3 A tässä laitteistossa. Muita tärkeitä parametreja on esimerkiksi virtaraja, käynnistymisaika ja pysäytystapa. Kun pehmokäynnistimen näytössä lukee rdY, on laite valmiina käyttöön.

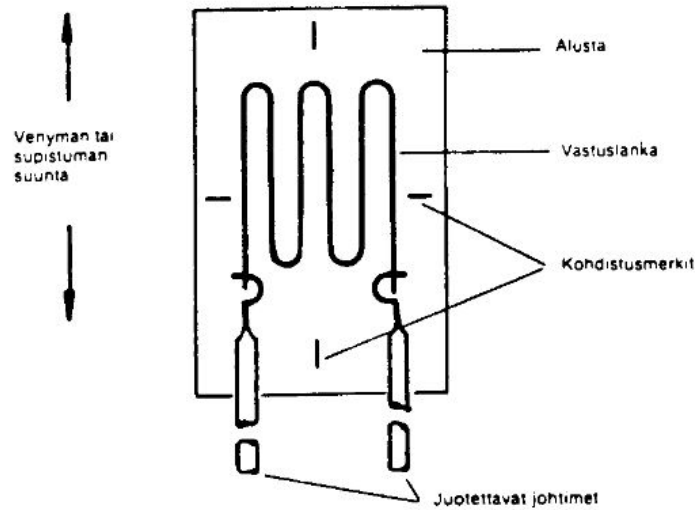
Laitteessa on neljä ohjaustuloa. LI1 on STOP, LI2 on RUN, LI3 on pakotettu vapaa pysäytys (LIA) ja LI4 on pakotettu paikallisohjaus (LIL). Ohjauslähtöjä on kaksi kappaletta. LO1 on moottorin terminen hälytys (tA1) ja LO2 on käyntitieto (ml). Relelähtöjä on kolme kappaletta. R1 on häiriörelle (r11), R2 on ohjauskontaktorin ohjaus käynnistuksen päätyttyä ja R3 käyntitieto (ml). Laitteessa on yksi analogilähtö, joka on moottorin virta (OCr). Tiedonsiirtoparametrit ovat sarjaliikenneohjaus, logiikkaosoite (Add), tiedonsiirtonopeus (tbr): 19200 bittiä sekunnissa ja tiedonsiirtomuoto (For): 8 bittiä, ei pariteettia, 1 seis-bitti (8nl). /9./

#### 4.4 Momentin mittauss

Moottorin voiman momenttia mitataan momenttianturilla. Momentti on suure, joka kuvaa vääntövaikutusta. Momentin yksikkö on Nm eli newtonmetri. Moottorin momentin mittauss oli ensimmäinen kehityskohde tässä työssä. Laitteistossa oli valmiina akseliin asennettuna HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik) T5-momenttianturi. Kehityskohde liittyi moottorin todellisen momentin mittaukseen akselilta. Aikaisemmin moottorin antamaa vääntömomenttia voitiin lukea CAN-väylää pitkin suoraan taajuusmuuttajalta sekä keskuksen ovesta löytyvästä Magelis-kosketusnäytöltä. Tämä taajuusmuuttajan laskema arvo on laskennallinen arvo, joka ei vastaa suurella varmuudella todellista arvoa. Taajuusmuuttaja laskee momentin virran avulla perustuen matemaattiseen malliin. Tietyn hetken todellisen vääntömomentin mittaamisen toteuttamiseen minun piti asentaa HBM MP55-moduuli keskukseseen. Momentin mittaamiseen tarvittavat laitteet on esitetty seuraavissa kappaleissa.

##### 4.4.1 HBM T5-momenttianturi

HBM T5 on akselimomenttianturi, jonka toiminta perustuu Wheatstonen siltaan kytettyihin venymäliuskoihin. Venymäliuska on vastus, jonka toiminta perustuu elastisen muodonmuutoksen aikaansaamaan resistanssin muutokseen. Venymäliuska voidaan valmistaa ohuesta metallilangasta, metallikalvosta tai puolijohteesta. Metallikalvoliuskat ovat näistä eniten käytettyjä, jotka valmistetaan yleensä estaamalla. Liuskat voidaan asentaa esim. muovialustalle asentamisen helpottamiseksi. Kuvassa 22 on esitetty lankavenymäliuskan rakenne. /10./



**KUVA 22. Lankavenymäliuskan rakenne /10/**

Venymäliuskat on sijoitettu T5-momenttianturiin 45 asteen kulmassa akselilinjaan nähden. Venymäliuskoja on neljä kappaletta, jotka asennetaan pareittain Wheatstonen siltaan. Venymäliuskojen resistanssit ovat 350 ohmia. Toinen pari mittaa venymän momentin positiiviseen suuntaan ja toinen pari negatiiviseen suuntaan. Vääntömomenttianturilta saatu mittaviesti siirretään pyörivältä akselilta näyttöosaan liukurenkaiden avulla. T5-momenttianturi on kytketty muuhun laitteistoon käyttämällä liitoskytkintä, joka vähentää anturiin kohdistuvia rasituksia. Kuvassa 23 on esitetty anturin kytkentä laitteistoon.



### KUVA 23. HBM T5-momenttianturin kytkentä laitteistoon

HBM T5-momenttianturin nimellismomentti on 200 Nm. Anturin nimellisherkkyyys eli nimellinen lähtösignaali nimellismomentissa on 2 mV/V. Momentin mittaustarkkuus on 0,2 % nimellismomentista. Lämpötilan vaikutus mittaustarkkuuteen on 0,1 % / 10 K. /11./

### 4.4.2 HBM MP55 -moduuli

HBM MP55 -moduuli kuuluu PME-tuotesarjaan, jotka ovat modulaarisia vahvistinjärjestelmiä. Moduuliin on erittäin monikäytännöllinen, koska siihen on mahdollista liittää voima-, paine-, vääntö- ja siirtymäanturit sekä kuormakennot. MP55-moduulissa on myös CANOpen- ja Profibus DP -rajapinta. Tässä käyttökohteessa moduulin tehtävänä on muuntaa HBM T5 -momenttianturin lähettämä mittausviesti luettavaan muotoon laitteen näytölle, joka mahdollistaa moottorin tuottaman vääntömomentin todellisen arvon seurannan. Moduuli asennetaan DIN-kiskoon.

Laite tarvitsee toimiakseen 24 VDC jännitteen. Moduulin perusasetukset asetellaan dippikytkimillä, jotka sijaitsevat moduulin vasemman puoleisella sivulla kannen alla. Dippikytkimien asennot on myös luettavissa moduulin näytöltä asetuksien kautta. Dippikytkimillä tehtävät tärkeimmät asetukset ovat sillan herätejännite, siltatyyppi, tulojännite sekä lähtöjännite. Kytkimien asettelu tehdään käytettävän anturityypin mukaan. Kuvassa 24 on esitetty, miten anturityypit vaikuttavat dippikytkimien asetteluun. /12./

Transducer type and rated data	Bridge type	Bridge excitation voltage	Input range
Strain gauge force transducer 2 mV/V=20 kN	Full bridge	5 V	3 mV/V
Inductive displacement transducer 80 mV/V	Half bridge	2.5 V	100 mV/V
Inductive displacem. trans. 10 mV/V	Half bridge	1 V	15 mV/V
Piezoresistive transducer 400 mV/V	Half bridge	1 V	250 mV/V
Potentiometric transducer 1000 mV/V	Half bridge	2.5 V	1000 mV/V

### KUVA 24. Anturityypin vaikutus dippikytkimien asetteluun /12/



MP55-moduulissa on neljä kappaletta riviliittimiä. Ylimpään riviliittimeen kytketään 24 VDC syöttöjännite sekä mahdollisesti CAN-väylä ja synkronointi. Tämän riviliittimen alapuolella on toinen riviliitin, johon voidaan liittää tarvittaessa CAN-sovitin tietokoneyhteyttä varten. Kolmanteen riviliittimeen voidaan liittää potentiaalisesti erotetut ohjaustulot, joita on neljä kappaletta. Myös analogilähtö on tässä riviliittimessä. Neljänteen riviliittimeen voidaan liittää taas neljä kappaletta potentiaalisesti erotettua ohjauslähtöä sekä ulkoinen virtalähde ohjaustuloja varten. Moduulissa on selkeä kaksirivinen nestekidenäyttö sekä kolme painiketta: set, plus ja miinus, joiden avulla voidaan helposti esim. vaihdella moduulin asetuksia ja katsoa mahdolliset häiriötilanteet. Kuvassa 25 on HBM MP55 -moduuli. /12./

Moduulin kanssa en päässyt haluttuun lopputulokseen. En saanut moduulia ohjelmointia tarpeeksi tarkaksi. Dippikytkimien asennot tarkastin moneen kertaan sekä yritin ohjekirjasta etsiä mahdollisia ratkaisuja ongelmaan. Lisäksi otin yhteyttä HBM Finlandiin, mutta en saanut ongelmaa ratkaistuksi.



**KUVA 25. HBM MP55-moduuli**

## 4.5 Tehoanalysaattori

Moottorin testauslaitteiston toinen kehittämiskohde oli tehoanalysaattorin liittäminen osaksi laitteistoa. Käytettävä tehoanalysaattori oli NGI:n (Norma Goerz Instruments) valmistama. Testauslaitteistoa tulisi syöttämään tämän laitteen kautta, jotta voitaisiin selvittää esim. syötön ottama teho.

### 4.5.1 NGI NORMA AC-tehoanalysaattori D 5255 N

Tehoanalysaattorilla voidaan mitata sekä yksi- ja kolmivaiheisesta verkosta. Tässä käyttökohteessa laitteella saadaan jokaisesta kolmesta vaiheesta mitattua virran, jännitteen ja pätötehon arvot sekä taajuuden arvon. Laitteella saadaan mitattua myös loistehoa, näennäistehoa ja tehokerrointa jokaista vaihetta kohden. Painikkeista löytyy myös summaus-painikkeet kolmelle eri tehosuureelle (pätöteho, näennäisteho ja loisteho), jotka laskevat yhteen kyseisen suureen summat jokaisesta kolmesta vaiheesta. Tehoanalysaattori laskee myös tarvittaessa keskiarvot virralle ja jännitteelle sekä hyötysuhteen. Laitteen läpi saisi kulkea maksimissaan 50 A virta ja 650 V jännite. Laittevalmistajan antamien sallittujen ylikuormitusarvojen mukaan tehoanalysaattori kestää kuitenkin 60 A virran jatkuvassa käytössä, ja se kestää jopa 100 A virtaa maksimissaan 5 sekunnin ajan. Jännitettä laite kestää jatkuvassa käytössä 800 V ja jopa 1,4 kV jännitettä 5 sekunnin ajan. Tehoanalysaattoria voidaan siis käyttää mittauksiin isoissakin järjestelmissä. Kuvassa 26 on esitetty käytettävä tehoanalysaattori toiminnassa.

/13./



**KUVA 26. Tehoanalysaattori toiminnassa**

Tehoanalysaattorin kytkennät tehdään laitteen takapaneeliin. Laite tarvitsee 230 V käyttöjännitteen. Myös suojamaadoitus on liitettävä turvallisuussyistä sille varattuun liitosnapaan. Takapaneelissa on kolme kanavaa, yksi jokaista vaihetta kohden, joihin tuodaan jännitetulot ja virtatulot. Virta- ja jännitetuloihin liitytään johtimilla, joissa on banaanipistokkeet. Jokaisen kanavan ylimpiin liittimiin (HI ja LO) tuodaan jännitetulot. Ruuviliittimiin tuodaan virtatulot. Laitteessa on myös yksi analogilähtö  $\pm 10$  V, johon voidaan kytkeä esim. lisävarusteena saatava tulostin. Kuvassa 27 on esitetty tehoanalysaattorin takapaneeli liittimineen. /13./

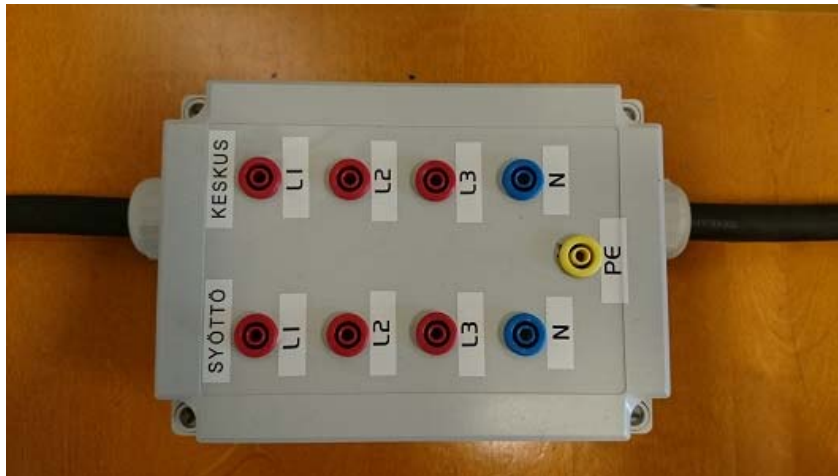


## KUVA 27. Tehoanalysaattorin takapaneeli liittimiseen

### 4.5.2 Tehoanalysaattorin kytkentä

Tehoanalysaattori piti kytkeä syötön ja keskuksen väliin, jotta sähkömoottorin testauslaitteistoa voitaisiin syöttää tehoanalysaattorin kautta. Tätä varten tarvitsin muovisen kotelon, jonka sain koululta. Koteloon piti asentaa kaksi kappaletta holkkitiivisteitä vedonpoistoilla sekä vastamutterit koteloon kiinnitystä varten. Holkkitiivisteiden läpi toin keskusta syöttävän johtimen, jonka jouduin katkaisemaan kytkentää varten. Kotelon kanteen minun piti porata yhdeksän reikää banaaniliittimiä varten. Jokaista kolmea vaihetta sekä nollaa kohden tuli kaksi banaaniliittintä. Suojamaata varten tuli vain yksi banaaniliitin, koska käytettävässä nelijohdinkytkenässä suojamaat vedetään yhteen.

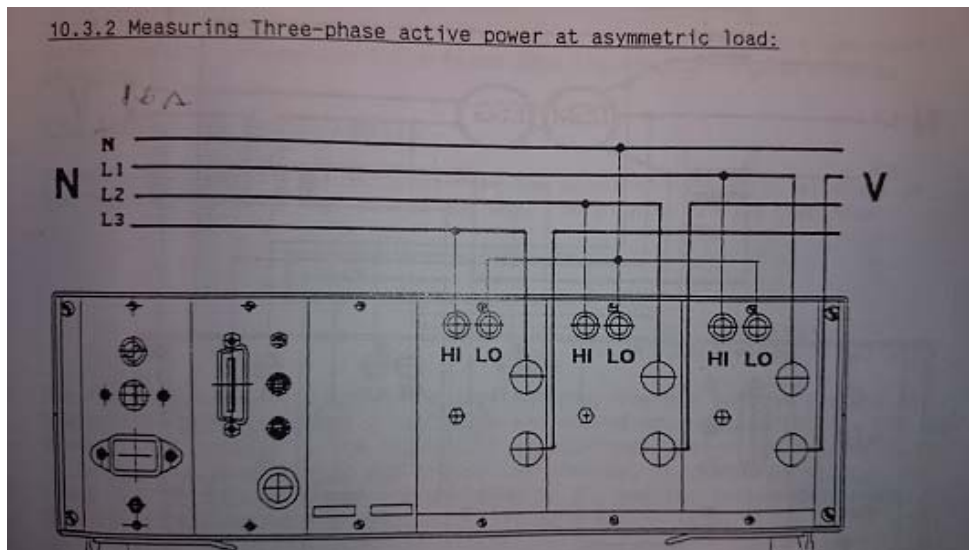
Keskusta syöttävän johdon molemmat katkaistut päät liitin kotelon sisällä oleviin banaaniliittimiin kaapelikenkiä käyttäen. Vaihejärjestyksen tarkistin syöttöön kytkettävästä 32 A voimavirtapistokkeesta. Banaaniliittimet asensin siten, että vasemmalla puolella on syöttävän puolen liittimet ja oikealla puolella keskuksen puolen liittimet. Kuvassa 28 on valmis tehoanalysaattorin liitântäkotelo.



KUVA 28. Tehoanalysaattorin liitântäkotelo

Tehoanalysaattorin kytkennän toteutin nelijohdinkytkenällä. Kytkennän tein valmistajan käyttöohjeen mukaan. Jännitetulojen HI-liittimiin kytkin syötön puolelta tulevat kolme vaihetta siten, että ensimmäiseen kanavaan tuli johdin liitântäkotelon ensimmäisestä vaiheesta (L1), toiseen kanavaan toisesta vaiheesta (L2) ja kolmanteen kolmannesta vaiheesta (L3). Jännitetulojen LO-liittimiin tulevat johtimet kytkin yhteen ja

liitin liitäntäkotelon nollajohtimeen (N). Virtatulojen ylempiin liittimiin kytkin syötön puolelta tulevat kolme vaihetta samalla tavalla kuin jännitetulojen HI-liittimien kytkentä. Alempiin virtatulojen liittimiin kytkin liitäntäkotelon keskuksen puolelta tulevat vaihejohtimet siten, että ensimmäiseen kanavaan L1-johdin, L2-johdin toiseen kanavaan ja L3-johdin kolmanteen kanavaan. Kuvassa 29 on esitetty nelijohdinkytken kytchentäkaavio. /13./



**KUVA 29. Nelijohdinkytken kytchentäkaavio /13/**

## 5 POHDINTA

Työn tekeminen vei minulta enemmän aikaa kuin etukäteen arvelin. Tästä johtuen en saanut laitteistoa aivan valmiiksi. Asiaan vaikutti myös se asia, että minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta kyseisistä laitteista. Lisäksi en löytänyt tarpeeksi tietoa liittymisen momentin mittaukseen. Myös julkaisut, jotka olivat englanninkielisiä, hidastivat työn etenemistä. Tästä syystä todellisen vääntömomentin mittauksen toteutus akselilta päätettiin jättää jonkun muun viimeisteltäväksi.

Työ alkoi tutustumalla jo olemassa olevaan sähkömoottorin testauslaitteistoon. Perehdyin laitteiden toimintaan lukemalla ohjekirjoja. Etsin myös lisätietoa internetistä sekä kirjoista. Sen jälkeen perehdyin hankittuihin laitteisiin ja niiden ominaisuuksiin. Näiden pohjalta muodostin kuvan tulevasta laitteistosta.

Ajan loppuminen oli isoin ongelma, joka tuli eteen työtä tehdessä. Tehoanalysaattorin liittämiseen osaksi testauslaitteistoa onnistui mielestäni hyvin.

## LÄHTEET

1. Juhala Matti, Lehtinen Arto, Suominen Matti, Tammi Kari. Moottorialan sähköoppi. 8. painos. Autoalan Koulutuskeskus Oy. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. 2005. ISBN 951-9155-19-8.
2. Alanen, Jarmo. CAN- ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. Pdf-dokumentti.  
[http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet\\_AlacenMateriaalia.pdf](http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlacenMateriaalia.pdf). Päivitetty 12.12.2006. Luettu 7.4.2014.
3. Saha, Heikki. CAN-väylä. FLUID Finland 4/2005 6-12. Pdf-dokumentti.  
<http://www.canopen.fi/artikkelit/CAN.pdf>. Päivitetty 3.8.2012. Luettu 7.4.2014.
4. Korpinen, Leena. Sähkökoneet, osa 1. Pdf-dokumentti.  
[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_1osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_1osa.pdf). Päivitetty 29.11.2007. Luettu 30.9.2014.
5. Aura Laura, Tonteri Antti J. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. 1. painos. Porvoo: WSOY. 1996. ISBN 951-0-20167-7.
6. ABB. Pehmokäynnistinopas. Pdf-dokumentti.  
[http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/\\$file/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12\\_01.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot209.nsf/veritydisplay/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/$file/OPAS%20Pehmokaynnistys%20FI12_01.pdf). Päivitetty 30.4.2013. Luettu 4.11.2014.
7. Danfoss. Tietämisen arvoista asiaa taajuusmuuttajista. 1992. ISBN 87-87411-00-8.
8. Telemecanique. Altivar 71-taajuusmuuttaja. Pdf-dokumentti.  
[http://fi.snb.leon.se/Downloads/PDF/ATV71\\_FI\\_ver1.pdf](http://fi.snb.leon.se/Downloads/PDF/ATV71_FI_ver1.pdf). Päivitetty 22.8.2005. Luettu 11.11.2014.
9. Telemecanique. Altistart 48 käyttäjän käsikirja. Pdf-dokumentti.  
[http://download.schneider-electric.nu/snb/download.aspx?so=4&file=SNBDB\\_30582](http://download.schneider-electric.nu/snb/download.aspx?so=4&file=SNBDB_30582). Luettu 26.11.2014.
10. Koivuviita. Ohjaustekniikka. Ohjaustekniikan perusteet. Anturit ja kenttälaitteet. Pdf-dokumentti.  
[http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka3\\_54\\_84.pdf](http://personal.inet.fi/yritys/kkov.eduserver/yhteinen/anturitekniikka3_54_84.pdf). Päivitetty 2.7.2005. Luettu 4.5.2015.
11. HBM. T5 torque transducer. Data sheet. Pdf-dokumentti.  
<http://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/hbmdoc/technical/b0071.pdf>. Päivitetty 20.1.2012. Luettu 4.5.2015.

12. HBM. MP55 module operating manual. Pdf-dokumentti.  
<http://www.hbm.com.pl/pdf/a0563.pdf>. Päivitetty 17.12.2009. Luettu 4.5.2015.
13. NGI. NORMA AC-power analyzer D 5255 N/A operating instructions.